TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Services et Travaux de 1913 à 1920

Résumé des Travaux antérieurs à 1907 et postérieurs à 1913

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

1920

TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE
DE PARIS

Services et Travaux de 1913 à 1920

Résumé des Travaux antérieurs à 1907 et postérieurs à 1913

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

1920



TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE

Services et Travaux de 1913 à 1920
Résumé des Travaux antérieurs à 1907 et postérieurs à 1913

N'ayant plus actuellement d'exemplaire de l'exposé de mes titres avant 1906, j'ai fait réimprimer ce rapide résumé de ces travaux, les difficultés présentes rendant difficile la réimpression complète. J'y joins l'état de mes services de guerre et des travaux que j'ai exécutés pendant cette période et depuis.

SERVICES ACCOMPLIS DE 1913 à 1920

Mobilisé comme lieutenant d'artillerie et chargé du commandement de la batterie de défense contre aéronefs de la Tour Eiffel et du Trocadéro, du 4 août 1914 au 20 septembre 1915.

Pendant ce temps, le service comprenant la garde de nuit, et par conséquent un jour sur deux de repos, j'ai été chargé par le général Clergerie de l'étude de diverses questions.

1° Étude de la visibilité de certains projectiles traceurs ;

2° Étude des projecteurs à ressort pour grenades.

C'est sous ma direction et en appliquant les résultats de nombreuses expériences que j'ai faites à ce sujet mais en y joignant une grosse contribution personnelle, que l'usine d'Imphy a réalisé le meilleur des appareils à ressorts dit « La sauterelle d'Imphy », basé sur l'élasticité de torsion.

3° Envoi en mission de longue durée à Boulogne-sur-Mer pour mettre au point un appareil d'écoute sous-marine que j'avais mis sur pied avant la guerre, à l'instigation de l'amiral Philibert.

Cet appareil ayant été soumis à des essais nombreux, et ayant montré qu'à côté de graves inconvénients, il avait certains avantages, un certain nombre en fut construit, et je reçus l'ordre d'en armer les chalutiers de la Méditerranée, à Milo et à Bizerte.

Certains des principes de ces premiers appareils ont été mis en œuvre dans la constitution définitive de l'appareil du commandant Walser.

Une part du prix extraordinaire de la Marine fut partagée entre le commandant Walser et moi.

Ces études furent continuées à Toulon en 1916 et début de 1917, époque à laquelle je fus attaché à la Direction des Inventions comme physicien de la Section marine, et chargé de la mise au point de diverses questions.

La croix de chevalier de la Légion d'honneur au titre militaire me fut donnée le 1er janvier 1918.

La Direction des Inventions ayant été maintenue pour le temps de paix, j'y suis resté comme président de ma section.

En avril 1920, la Faculté de Médecine m'a fait le grand honneur de m'appeler à la Chaire de Physique médicale.

Pour mes autres titres, je renvoie aux deux suppléments à ma première notice, qui sont joints à cette plaquette.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX ANTÉRIEURS à 1907

RECHERCHES CLINIQUES

a. Étude des éruptions cutanées. — Dans ma thèse, passée en 1893, je me suis occupé de divers points théoriques, et la théorie m'a amené à des conséquences pratiques relativement à l'étude des éruptions cutanées, sur lesquelles je vais donner ici quelques indications :

1° Il ne faut pas examiner une éruption délicate dans une chambre tendue de rouge ou avec une lumière artificielle à prédominance de rayons rouges (lampes à huile ou à pétrole, bougies, lampe à incandescence peu poussée);

2° L'emploi des sources modernes à haute température (bec Auer, arc électrique, etc.) est au contraire justifié;

3° Avec une lumière intense, on a une très grande délicatesse dans la perception des éruptions cutanées en armant l'œil d'un verre bleu Isly ;

4° Il faut opérer par vision binoculaire, en ayant soin d'éviter toute lumière parasite n'ayant pas traversé le verre bleu, qui fatiguerait la vue et nuirait à l'observation.

L'emploi de la vision binoculaire et du verre bleu Isly permet trois choses importantes :

1° Prévision d'une éruption avant que l'œil ne permette de l'affirmer :

2° Révélation des traces d'une éruption antérieure ;

3° Révélation d'une éruption fruste.

De nombreux médecins ont employé cette méthode, et elle rend des services surtout pour l'affirmation de roséoles syphilitiques douteuses.

b. Emploi de l'arc au fer en photothérapie. — J'ai montré, en collaboration avec M. A. Chatin, que l'on pouvait supprimer complètement les réfrigérants dans l'application de la photothérapie, à condition d'employer une source actinique convenable, constituée par un arc électrique dont le charbon positif est creux, le vide intérieur étant rempli par un bâton de fonte convenable. Dans ces conditions, on peut réaliser des arcs alimentés par 17 ampères, et tenir la main à 10 centimètres de distance sans brûlure. Le traitement des lupus par ce procédé a donné des résultats comparables à ceux de la méthode de Finsen, avec un prix de revient infiniment moindre.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

§ I. — Optique physiologique

a. Sensation binoculaire. — Dans ma thèse, j'ai établi que les sensations dues aux deux yeux s'ajoutent, et que la sensibilité pour les différences de clarté était doublée par la vision binoculaire à lumière peu intense. J'en ai tiré ultérieurement quelques conclusions théoriques relatives au fonctionnement de l'appareil nerveux visuel.

b. Images accidentelles sur fond obscur. — Dans le même travail, j'ai étudié également les images accidentelles sur fond obscur et j'ai montré que celles-ci ne pouvaient être considérées comme des persistances des impressions lumineuses sur la rétine, car, lorsque l'impression est assez grande, il y a un temps de plusieurs secondes écoulé entre la cessation de l'excitation objective et le commencement de l'apparition de l'image accidentelle subjective. L'hypothèse qui semble le mieux coordonner les faits est que les terminaisons nerveuses sont excitées par le travail de reconstitution des substances usées sous l'action de la lumière.

Cette manière de voir est corroborée par l'existence des scotomes scintillants.

c. La sensation lumineuse en fonction du temps (en commun avec M. Sulzer). — On savait depuis Brücke que la sensation de blanc obtenue avec les disques rotatifs papillotants était plus forte que celle du blanc du disque arrêté.

Mais, par les expériences de Richet et Breguet, puis Charpentier, on savait que les lumières extrêmement brèves étaient moins éclatantes que les mêmes lumières vues en régime permanent.

Nous avons pu construire par points la courbe qui donne la sensation en fonction du temps, et nous avons vu que le maximum de sensation pouvait être beaucoup plus élevé que la sensation permanente.

Nous avons appelé *ondulation de fatigue* le rapport de l'ordonnée maxima de la courbe de sensation à l'ordonnée qui correspond au régime permanent. Nous avons montré que l'ondulation de fatigue est minima dans le vert, plus grande dans le rouge, et plus grande encore dans le bleu, à égalité d'éclat.

C'est dans le vert, où l'énergie du spectre solaire est maxima, que l'œil utilise le mieux, d'après Langley, la lumière pour l'acuité visuelle, et c'est là un phénomène

frappant d'edaptation au milieu ; nous avons montré que l'œil s'est encore edapté eu milieu le mieux possible en utilisent cette même radiation avec le minimum de fatigue.

d. Causes rétiniennes de variation de l'acuité visuelle en lumière blanche. — J'ai pu concilier le théorie d'Helmholtz, d'après lsquelle la distinction de deux points a lieu quand, entre les images rétiniennes de ces deux points, se trouve un élément rétinien non impressionné, avec les variations que présente l'acuité visuelle en fonction de l'éclairege. Au premier abord, cette variation paraît en effet incompatible evec l'idée que l'élément rétinien ou territoire indépendent, comme je l'ai nommé, est le cône de le fovea, élément rétinien qui semble fixe, mais j'ei pu établir que le variation de l'ecuité visuelle dépendait non seulement de l'éclat même des objets à distinguer, mais encore de l'étet d'adeptation de le rétine à la lumière ambiante.

Quand l'ecuité visuelle de l'œil pour un tout petit objet sur fond noir dépesse l'unité, elle augmente par la fetigue ambiante ; elle diminue au contreire dans les mêmes conditions quand elle est inférieure à l'unité.

La lumière smbiante forte diminue la sensibilité des éléments rétiniens, mais produit en même temps la migration du pigment qui les étrangle et diminue par conséquent leurs dimensions. Deux ces peuvent elors se présenter. Dans le premier, la lumière du tout petit objet lui-même est assez grende pour que l'influx nerveux dû à un cône, même fatigué par la lumière ambiente, suffise è exciter une cellule cérébrale ; dans ce ces, les cônes peuvent rester isolés, et l'acuité visuelle augmente per diminution d'étendue du territoire indépendant.

Dens le second cas, la lumière du tout petit objet est trop feible, alors les cônes devront se grouper, par les connexions horizontales de Ramon y Cajal, de manière à ce qu'une cellule centrale reçoive l'influx nerveux de plusieurs d'entre eux. Dans ces conditions l'étranglement de chaque cône n'aura plus d'importance, et le groupement devra se faire par un plus grand nombre de cônes sur une même cellule si la fatigue intervient ; et l'acuité visuelle baissera.

e. Inertie rétinienne relative au sens des formes ; vision des traits (en commun evec M. Sulzer). — Nous avons montré que l'isolement des éléments rétiniens, dont j'ai parlé ci-dessus, met un temps notable à se produire, temps d'autant plus long que l'isolement exigé par la distinction des traits présentés à l'œil, est plus parfait, et que la lumière agissante est plus feible. La segmentation rétinienne se fait autour de ce point avec une vitesse de 1 mm. 5 environ par seconde.

f. Inertie rétinienne relative au sens des formes : vision des lettres (en commun evec M. Sulzer). — En reprenant les mêmes expériences avec des lettres, nous avons vu que l'ecte psychique relatif à le reconnaissance d'une lettre prend un temps appréciable, d'autant plus grand que le caractère à lire est plus complexe. Nous en avons conclu que les lettres de notre alphabet pourraient aisément être remplacées per des lettres meilleures au point de vue de la vitesse de lecture.

§2. — Ophtalmométrologie

a. Vision des astigmates corrigés. — J'ai établi que les objets dans l'œil astigmate corrigé subissent une déformation systématique à cause de la position du

verre correcteur au foyer antérieur de l'œil, ce qui explique l'embarras qu'éprouvent souvent les estigmates corrigés pour descendre des trottoirs, dens les premiers temps de leur correction.

b. Variation de l'acuité visuelle des astigmates dans les divers azimuts. — J'ei déduit des mesures que j'ai faites relativement à ce phénomène déjà signalé, que la section des éléments rétiniens devait être légèrement allongée dens le sens de le traction le plus grande due à l'action du muscle ciliaire lors de la compensation accommodative de l'astigmatisme.

c. Compensation accommodative de l'astigmatisme (en commun avec M. Sulzer). — La nature de cette compensation a été très controversée. Nous avons pu prouver que, au moins pour mon œil droit, la compensation se faisait par une déformation stetique irrégulière du cristallin. Le procédé employé a été celui de l'ombre pupilleire. L'accommodation irrégulière se fait par une série de tâtonnements assez lents.

d. Angle limite de numération des objets et mouvements des yeux (avec M. Sulzer). — Nous avons montré que la faculté de compter les objets disparaissait longtemps avant qu'on cessât de les distinguer, et cela d'autant plus tôt que le nombre des objets est plus grand.

e. La vision des signaux colorés et les épreuves de la dyschromatopsie. — J'ai montré, en employant la théorie des projecteurs, que, eu delà d'une certaine distance, les feux colorés donnaient l'impression d'une tache de diamètre apparent constant, mais d'éclat variable en raison inverse du carré des distances.

Donc, à la limite, la couleur cessera d'être distinguée quand l'éclat sera dans l'intervalle photochromatique. On peut réaliser l'expérience en employant un tout petit trou devant une flamme dans une chambre noire. Ce dispositif permet d'étudier la dyschromatopsie, même réduite à un commencement de scotome central, ce que les épreuves actuelles ne permettent pas de faire.

§ 3. — Muscle

a. Variation thermique négative (en commun avec M. Ch. Richet). — Nous avons étudié en détail les conditions dans lesquelles se produit le refroidissement du muscle qui se contracte. Nous avons observé qu'il se produisait principalement dans le cas du muscle privé d'oxygène. Cela peut s'expliquer soit par des variations de circuletion ou la mise en jeu de phénomènes élestiques endothermiques, comme l'a indiqué M. Cheuveau, soit par la production, en ce cas, de phénomènes physicochimiques endothermiques dans la contraction musculaire. Cette dernière hypothèse doit être partiellement vraie, car, lorsqu'on fait treveiller électriquement un muscle de chien sous l'asphyxie, on peut arriver, si le poids soulevé est assez fort et le temps de trevail suffisamment prolongé, à voir la contraction cesser complètement malgré la répétition des excitations. Cela se produit chez le chien après 5 ou 6 minutes d'excitation sous asphyxie, la température rectale étant de 25° environ.

Dans ce cas on peut ramener l'animal à la vie par la respiration artificielle et la fonction du muscle ne se rétablit pas, il est dans un état de rigidité complète.

Nous avons appelé cette contraction du nom de *contraction anaérobie.* Nous avons déduit de là la conséquence pratique que dans les myopathies d'origine vasculaire le repos devait être le traitement primordial.

b. Expériences ergométriques pour mesurer la puissance maximum d'un muscle en régime permanent (en commun avec M. Ch. Richet). — Nous avons, au moyen d'un ergomètre particulier, pu étudier dans des expériences de longue durée le travail maximum que l'index peut donner, en régime permanent, quand on fait varier le rythme des contractions et la grandeur du poids soulevé. Nous avons pu définir dans ces conditions l'existence d'un régime permanent maximum, exact à un dixième près de sa valeur, quand on produit la plus forte somme de travail dont on est capable. Ce régime, qu'on ne peut dépasser sans être arrêté par des crampes, peut se soutenir pendant plusieurs heures. Les conditions du maximum de puissance développée sont les suivantes : poids compris entre 700 et 1.200 grammes, fréquence de 250 par minute. Mais il ne faut pas dépasser sensiblement ces limites ; qu'on augmente le poids ou la fréquence un peu notablement, et la puissance tombe tout de suite à une valeur très faible. Ces conclusions ont été vérifiées par M. Trèves sur le biceps.

c. Influence des intermittences sur le régime continu maximum (en commun avec M. Ch. Richet). — Nous avons eu alors l'idée de voir si, quand, au lieu d'imposer au muscle une série ininterrompue de contractions périodiques, on lui permet de prendre des repos rythmés, la puissance moyenne maximum ne devenait pas plus grande. Cela n'était pas évident *à priori*, car si chaque contraction peut ainsi augmenter, le nombre des contractions par minute diminue, et le travail moyen peut être augmenté ou diminué suivant que l'un des facteurs ou l'autre l'emporte. Nous avons trouvé des résultats variables suivant les conditions.

Quand le poids soulevé est faible (moins de 500 grammes), les intermittences sont défavorables. Quand le poids est moyen (500 à 1.000 grammes), les intermittences sont indifférentes. Quand le poids est fort (au-dessus de 1.000 grammes), les intermittences sont favorables.

Les conditions du maximum sont réalisées avec un poids très fort (1.500 grammes), un rythme donné par un métronome battant 200 coups par minute, et des alternatives de repos et de travail de 2 secondes.

§ 4. — **Système nerveux**

a. Période réfractaire des centres nerveux (en commun avec M. Ch. Richet). — Nous avons montré, en excitant électriquement le cerveau d'un animal endormi par la choralose, que, à la suite d'une excitation, l'excitabilité suit une loi parfaitement déterminée. Quand les 2 excitations sont à moins de 0^{sec},02 l'une de l'autre, leurs effets s'ajoutent. Quand au contraire elles sont à un intervalle compris entre 0^{sec},02 et 0^{sec},1, la 2e est nulle et non avenue. Cela se passe seulement quand l'excitation ne donne pas encore la réponse maxima.

Nous avons donné à la période d'inexcitabilité le nom de *période réfractaire*,

à cause de l'analogie avec ce que Marey avait démontré dans la contraction du muscle cardiaque.

Quand, au lieu d'envoyer seulement deux excitations consécutives, on envoie une série d'excitations rythmées, on voit l'animal répondre quand la fréquence augmente progressivement, d'abord à toutes les excitations, puis à une excitation sur deux, puis à une sur trois, puis à une sur quatre, etc. Ces phénomènes sont explicables au moyen d'une assimilation mécanique.

La période réfractaire, terminée au bout de $0^{sec},1$ chez le chien à température normale, dure jusqu'à $0^{sec},7$ chez l'animal refroidi aux environs de 25 degrés dans le rectum.

Cette période de retour à l'équilibre du système nerveux exige que deux actes volontaires soient séparés l'un de l'autre par un temps au moins égal à celui de cette période, pour que le second puisse être bien coordonné. Nous avons vu qu'on ne peut penser plus de dix articulations par seconde, ni exécuter, même dans le trille musical, plus de dix notes par seconde, d'une manière régulière.

b. Temps perdu des réflexes chez le chien (en commun avec Ch. Richet). — L'étude de la période réfractaire nous ayant montré une variation de cette période avec la température, et la théorie nous ayant montré que cela est probablement corrélatif de la vitesse même de fonctionnement de la cellule grise, nous avons cherché s'il n'y avait pas une corrélation entre la courbe de la variation de la période réfractaire en fonction de la température et celle de la variation du temps perdu des réflexes. Nous avons tracé cette dernière courbe chez le chien chloralosé, et nous avons trouvé les temps suivants :

40°	$0^{sec},042$	36°	$0^{sec},049$	31°,5	$0^{sec},08$
39°	$0^{sec},045$	35°	$0^{sec},050$	29°	$0^{sec},1$
37°	$0^{sec},048$	34°	$0^{sec},060$		

courbe exactement de même forme que celle de la période réfractaire.

La résistance du système nerveux est à peu près parfaite jusqu'à 35 degrés de température rectale ; à partir de ce moment, l'allongement du temps devient très rapidement très grand.

§ 5. — Acoustique

Influence de l'intensité sur la hauteur du son. — Dans la lumière nous distinguons une quantité, et une qualité que nous appelons sa couleur. La couleur dépend essentiellement de la période de vibration de la lumière, mais elle dépend aussi accessoirement de son intensité. De la lumière spectrale verte, par exemple, tend vers le blanc quand elle est suffisamment faible (existence de l'intervalle photochromatique de Charpentier) ; de même elle tend encore vers le blanc quand son intensité devient considérable (image aérienne d'un spectre dû à l'arc électrique). J'ai pensé qu'il devait en être de même pour le son, et j'ai constaté que le son d'un même diapason semble monter de 1/5 de ton quand il s'affaiblit assez pour être difficilement perçu ; la notion physiologique de hauteur subit une

petite variation du chef de l'intensité. Il y a donc pour le son une loi tout à fait analogue à celle qui existe pour la lumière ; et l'exactitude des perceptions relatives aux périodes est modifiée en partie par l'intensité de la cause excitatrice.

§ 6. — Divers

a. Sur la mise au point du tube de Crookes à osmorégulateur pour les bobines puissantes (*Archives d'électricité médicale*, 1901). — Normalement, un tube de Crookes durcit en fonctionnant, c'est-à-dire que son étincelle équivalente augmente. Il suffit alors pour le restaurer de faire entrer du gaz par l'osmo-régulateur. Mais il arrive parfois, quand on le fait fonctionner d'une manière très puissante, qu'il vient à se ramollir. Les gaz ainsi dégagés anormalement peuvent être éliminés par un fonctionnement assez long à petit régime. Quand on augmente de nouveau le régime, l'étincelle baisse de nouveau, mais moins que la première fois ; on peut alors, en faisant accomplir au tube une série de cycles analogues, arriver à le mettre au point pour la bobine employée, c'est-à-dire à lui donner le durcissement normal de marche, dont on est maître par l'osmorégulateur.

b. Souvenirs d'un électrocuté (*Revue scientifique*, 1901). — Dans le cours des études sur les hautes fréquences, dont je parlerai ci-dessous, j'ai été une fois exposé accidentellement à un courant alternatif à 42 périodes par seconde, obtenu sur le secondaire d'une bobine d'induction dans le primaire de laquelle se dépensaient environ 5 chevaux-vapeur sous forme de courant alternatif. Le courant, de 600 milliampères environ, passait d'une main à l'autre et a duré quelques secondes seulement. J'ai été paralysé du haut du corps pendant un temps d'autant plus long que la densité de courant au point considéré avait été plus forte. La paralysie des bras a disparu au bout d'une 1/2 heure ou 3/4 d'heure. Trois heures après sont apparus des accidents cardiaques graves, qui ont duré plusieurs heures. Sans avoir de notion bien certaine à leur sujet, je les attribuerais volontiers à des toxines produites pendant la tétanisation violente qu'ont éprouvée les membres durant le passage du courant. L'expérience répétée sur des chiens dans les mêmes conditions ne leur a donné aucun accident consécutif notable.

c. Précis de physique médicale. — Faisant partie de la bibliothèque du doctorat en médecine de MM. Gilbert et Fournier (1906).

Cet ouvrage représente le résultat de l'expérience de six années pendant lesquelles j'ai fait des conférences à la Faculté de médecine, au moment même où le changement de programmes (création du P. C. N.) permettait aux physiciens de donner à leurs leçons un caractère exclusivement médical, mais exigeait d'eux un travail considérable de mise au point. Je me suis efforcé d'en élaguer tous les développements touffus, et d'y mettre toutes les applications de la physique utiles à connaître pour la pratique rationnelle de la médecine. Le premier principe qui m'a guidé a été la suppression presque complète des formules, qui rendent pénible la lecture d'un ouvrage pour ceux qui n'y sont pas rompus, et qui, pour les applications, sont le plus souvent inutiles. La plupart des faits de la physique, quand on ne veut pas en tirer des applications numériques délicates, sont susceptibles d'une

explicetion concrète, que je me suis efforcé de donner dans chaque cas perticulier.
Cet ouvrage en est actuellement à sa 3ᵉ édition française et a été traduit en espegnol.

RECHERCHES PHYSIQUES

§ 1. — Instrumentation

a. Galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité. — J'ei établi un gelvanomètrs à aiguilles verticales présentant en leur milieu des points conséquents de noms contraires. M. Gray, en Angleterre avait constitué des équipeges au moysn de deux aiguilles verticeles ordineires ; M. Pierre Weiss en France evait montré qu'on pouvait réaliser ainsi des sensibilités excellentes, mais avec des instruments extrêmsment petits et difficiles à construire. L'emploi des aiguilles à points conséquents m'a permis de réaliser aisément des sensibilités très grandes avec un astatisme supérieur à celui de tous les eutres systèmes. De plus ces appareils gerdent très longtemps leur sensibilité, ce qui n'est pas le cas des équipages à eiguilles horizonteles. Ce galvanomètre est actuellement très répandu en France et en Angleterre.

b. Spectroscope à déviation fixe (en commun evec M. Pellin). — J'ai encore combiné, evec M. Pellin, un spectroscope dont les prismes sont tels que le reyon lumineux subit à l'intérieur une réflexion totale convenable. Dens ces conditions, le rayon qui donne la netteté mexima a une direction perpendiculaire au reyon incident. Le rotation du prisme permet de faire défiler tout le spectre eu réticule d'une lunette fixe. Ce système s'epplique aisément à la construction de spectroscopes multiprismetiques où les mouvsments sont très simples, et où l'utilisation des faces est parfaite. Ce spectroscope est maintenant d'un usage très générel. C'est sur son principe que sont établis les spectrographes de Hilger en Angleterre et de Pellin en France.

c. Photomètre universel (en commun evec M. Blondel). — Les études mentionnées au chapitre précédent ont motivé ma collaboration avec M. A. Blondel pour le réalisation d'un photomètre pratique permettant toutes les mesures utiles dans l'industrie. On sait combien sont difficiles les mesures d'éclat intrinsèque en particulier, surtout dans le ces d'une surface inaccessible. Nous avons pu combiner un instrument permettent cette mesure en même tsmps que celle de l'éclairement en un point d'une salle (principe de l'appareil de M. Mascart). Les mesures sont rendues très commodes et très précises par l'emploi de l'œil de chat ds M. Blondel et de la vision binoculaire.

§ 2. — Photométrie

a. Vision binoculaire en photométrie. — J'ai montré que l'on augmente considérablement le sensibilité des comperaisons photométriques en opérant par vision binoculaire, meis que l'emploi des deux yeux emène une cause d'erreur tenent à leur inégale sensibilité, qui est fréquente, et à l'irrégularité des courbes de

diffusion. On peut supprimer cet inconvénient en opérant par la méthode de substitution, ou bien en envoyant aux deux yeux, au moyen d'un système de miroirs convenables, la lumière émanée des diffuseurs dans une direction normale. Un photomètre pratique combiné d'après ce principe, en commun avec M. Blondel, a mis en œuvre ce résultat de la théorie. C'est ce travail qui m'a permis de poser le principe qu'on doit observer binoculairement les éruptions cutanées.

b. Sur la découverte des étoiles photographiques. — J'ai donné enfin une explication de la raison pour laquelle l'œil perçoit sur la plaque photographique les impressions dues à certaines étoiles, invisibles par l'observation directe. Cela tient à ce que l'œil et la plaque photographique n'ont pas les mêmes lois de sensibilité et que, grâce à la forme de la fonction photographique, on arrive, par des impressions assez faibles et assez longtemps prolongées, à donner aux deux plages voisines une fraction différentielle aussi grande qu'on le veut.

c. Rapport sur la photométrie. — J'ai été chargé en 1895-1896, par l'Association française pour l'avancement des sciences, d'un rapport sur la photométrie, question mise à l'étude par la section de physique. Ce rapport a donné lieu à des communications de MM. de la Baume-Pluvinel, A. Blondel, Charpentier, Chassevant, Crova, Féry, Guillaume, Macé de Lépinay et Nicati, Violle. Le rapport et les communications ont été réunis en une brochure séparée, annexée aux travaux du Congrès de Carthage.

§ 3. — Etudes mathématiques d'optique géométrique

a. Aplanétisme et achromatisme des systèmes épais. — J'ai pu établir par le calcul quelques propriétés générales des systèmes optiques au point de vue des aberrations de sphéricité et des aberrations chromatiques. On sait que, quand un faisceau homocentrique rencontre une surface réfringente suivant une zone définie par une certaine ouverture angulaire très petite, l'aberration de sphéricité est en général du second ordre par rapport à cette ouverture angulaire, quel que soit le nombre des surfaces, centrées sur la première, qui forment avec elle un système optique. J'ai montré qu'il y a toujours un certain nombre de points réels ou imaginaires, pour lesquels l'aberration devient du 4e ordre, ce sont les points aplénatiques du système. On ne peut arriver à avoir des points aplanétiques aux environs du foyer d'une lentille homogène que par l'emploi de très grandes épaisseurs.

J'ai ensuite étudié les conditions d'achromatisme de ces systèmes, sur lesquelles je n'insisterai pas ici.

b. Forme de la surface focale d'un système épais aux points aplanétiques. — Enfin j'ai cherché la condition pour que l'image d'une surface plane soit sensiblement un plan, dans le cas où le pied du plan sur l'axe est un point aplanétique. Dans le cas d'un système de lentilles, la condition est que la somme des puissances des dioptres composants soit nulle, ce qui n'implique aucunement d'ailleurs que le système soit sans puissance, l'épaisseur des milieux qui le composent entrant en jeu. L'ensemble de toutes ces propriétés a été vérifié par un objectif aimablement construit par M. Baille.

§ 4. — Etudes expérimentales sur les décharges dana les gaz et le phénomène de M. Zeeman.

a. Rayons cathodiques de seconde espèce et phénomène de M. Zeeman. — M. Zeeman avait montré que la flamma du sodium placéa dans le champ magnétique devenait le siège de phénomènes nouveaux, chaqua radiation étant transformée en un triplet dû à trois composantes de réfrangibilités différentes, l'una circulaire droite, l'autre circulaire gaucha et la troisième polarisée perpandiculairament au champ magnétique, ayant par conséquent sa forco électriqua suivant la champ. J'ai pensé qu'on devait voir ca phénomène en dimensions diractement perceptibles si on s'adressait à des gaz très raréfiés conduisant des charges, où la libre parcours des molécules est rendu très grand par l'orientation du mouvement. On savait que les rayons cathodiques s'enroulent autour du champ, ca qui rend compte de la possibilité des rayons circulairas. J'ai repris la question avec une ampoule de forme spéciale, et j'ai vu que les rayons cathodiques ordinairas s'anroulent autour du champ suivant des hélices à pas variables, les uns très courts, les autres très longs, puis que, pour une certaine valeur du champ, naît brusquemant un faisceau de rayons cathodiques qui suit exactement les lignes de force. J'ai donné à ces rayons la nom de : *Rayons cathodiques de seconde espèce.*

b. Conservation de la période de la lumière absorbée par le fer et la liqueur de Thoulet dans le champ magnétique. — J'ai également montré que, dans la cas où la lumière traverse le champ magnétique en y étant absorbée par un milieu jouissant de la rotation magnétique, liqueur de Thoulet, ou même lame da fcr, aucun changement de période n'avait lieu. Un théorème sur l'égalité symétrique m'avait montré qu'il était permis dans ce cas de chercher le phénomène. L'expérience m'a montré que capendant dans l'absorption ordinaire da la lumière même par les milieux rotatoires magnétiques, le phénomène de M. Zeeman na se produit pas.

c. Rayons anodiques. — En étudiant la décharge dans le vide extrêmement ponssé entre deux pointes de platine très voisines situées au milieu d'une ampoule, j'ai vu jaillir, outre quelquas raras rayons cathodiques, une étincelle disruptive présentant les raies du platine. Simultanément, j'ai vu la pointe positive se creuser en cratère at la paroi du tuba se métalliser, principalement dans l'hémisphère situé autour de la cathode. En mettant au champ magnétique ces décharges composées de particules métalliques électrisées et animées de vitesses, j'ai vu qu'alles étaient déviées comme le voulait le sens de leur vitesse et lcur charge positive. Ce sont donc bien là des *rayons anodiques.*

d. Décharge de haute fréquence entre fils de platine (en commun avec M. Turchini). — J'ai étudié avec M. Turchini la formation des gaines lumineuses cathodiques qui se produisent sur les fils métalliques placés dans l'atmosphère et servant d'éclateur à la décharge de haute fréquence qui passe à travers una self-induction notable. Nous avons pu montrer que le fil muni d'une gaine de catte espèca devenait une véritable soupape na laissant passer qua la décharga négativa. Les particules chargées sont formées d'oxyda de platina.

Quand la décharge devient plus intensa, la fil rougit, la gaina persistant capan-

dant ; à ce moment, la décharge positive prend le prédominance. En plaçant la décharge dans un champ magnétique on voit dans le premier cas que l'émission de la gaine est formée uniquement de particules négatives, et dans le second de particules des deux signes.

§ 5. — **Mesures expérimentales de quelques périodes de décharges électriques.**

a. Durée de la décharge du tube de Crookes. — En appliquant un procédé purement électrique, j'ai pu voir par un calcul simple que la décharge dans un tube à rayons X dure un temps appréciable : $0^{sec},0005$ quand l'étincelle équivalente est supérieure à 12c (tube Chabaud), et des temps de plus en plus longs, mais toujours du même ordre de grandeur, pour les tubes à étincelle équivalente moindre.

b. Chronophotographie de la décharge du tube de Crookes (en commun avec M. Turchini). — Nous avons pu, par l'emploi de plaques Lumière extra-sensibles spéciales (3 ou 4 fois plus sensibles que les Σ) photographier une toute petite étincelle en série avec le tube de Crookes. Nous avons ainsi vérifié les résultats de l'étude précédente.

c. Mesure des phénomènes périodiques du primaire de la bobine d'induction (en commun avec M. Turchini). — Ayant besoin, pour montrer la constance du temps de décharge du tube de Crookes malgré les variations du circuit, de connaître les constantes de nos bobines, nous avons étudié celles-ci au moyen de l'ondographe d'Hospitalier, qui permet d'enregistrer les courbes de l'établissement des intensités et des différences de potentiel dans un circuit. Je ne puis ici donner d'indications sur cet appareil industriel ; nous avons pu, par son moyen, étudier les divers phénomènes périodiques des primaires des bobines.

d. Mesure de la période de l'antenne de la télégraphie sans fil (en commun avec M. Turchini). — Nous avons pu, au moyen des appareils qui vont être indiqués ci-dessous, mesurer ces périodes, et nous avons vu que, dans les limites de nos étalonnages, les antennes vibrent en quart d'onde.

§ 6. — **Étude des courants de haute fréquence. Pouvoir inducteur spécifique des métaux.**

J'ai groupé, pour arriver à déterminer le pouvoir inducteur spécifique des métaux et des électrolytes, toute une série de déterminations expérimentales, sur lesquelles j'ai dû édifier une théorie mathématique nouvelle. Je ne donnerai donc pas en les détaillant séparément toutes les expériences et les calculs relatifs à cette question, mais je vais l'exposer dans son ensemble.

Étude des courants de haute fréquence. — Pouvoir inducteur spécifique et conductibilité. — Je m'étendrai un peu davantage sur ces études qui me paraissent plus importantes que les autres, car elles semblent établir sur des bases solides la notion que les conducteurs, métaux et électrolytes, ont, conjointement avec leur conductibilité, un pouvoir inducteur spécifique extrêmement élevé. On divisait autrefois les corps en deux classes absolument distinctes au point de vue électrique : les conducteurs, et les diélectriques ; les premiers étant le siège de courants qui les chauffent et qui agissent sur un aimant, les seconds empêchant le courant continu

de se produire. Maxwell a montré que les diélectriques, quand ils sont le siège d'une force électrique variable, donnent lieu à des courants qui agissent sur l'aiguille aimantée, mais qui s'arrêtent aussitôt que le régime permanent est établi. Il a posé les équations générales qui régissent la propagation d'une onde électromagnétique, et a trouvé que cette propagation dépend du pouvoir inducteur spécifique du milieu, et de sa conductibilité. En supposant la conductibilité nulle, on trouve les équations de la théorie électromagnétique de la lumière, le pouvoir inducteur étant le carré de l'indice de réfraction pour les ondes considérées. En supposant au contraire le pouvoir inducteur spécifique nul, on trouve l'équation de conduction pure qui jusqu'ici semblait s'appliquer exactement aux métaux et aux électrolytes.

Une première observation faite en 1901 en commun avec M. Turchini nous avait montré que la conductibilité dans les électrolytes n'est pas une chose absolue, et qu'on peut produire dans ceux-ci une véritable étincelle disruptive. Nous avions vu ce phénomène en plaçant sur un circuit de courant de haute fréquence un éclateur composé de deux boules de cuivre plongées dans le sulfate de cuivre. Quand l'étincelle caractéristique des hautes fréquences jaillit dans l'air, elle est accompagnée d'une étincelle de même nature dans l'électrolyte. En même temps le métal est pulvérisé en particules assez fines pour flotter à la surface du liquide, maintenues par la tension superficielle, quand elles y sont projetées. Dans l'eau acidulée, le même effet se produit. Les électrolytes manifestent donc, au point de vue de la rupture, les mêmes propriétés que les diélectriques, quand il sont soumis à des impulsions électriques assez brusques.

J'ai pensé, en présence de ce fait, que dans les métaux on pourrait peut-être mettre en évidence, par l'intermédiaire des hautes fréquences, la propriété diélectrique et que le meilleur procédé pour cela était l'étude de la résistance électrique présentée pour ces courants par les fils métalliques.

Lord Kelvin avait trouvé, en supposant nul le pouvoir inducteur spécifique, la formule qui donne la résistance d'un fil cylindrique pour un courant de période donnée. Cette formule n'avait pas, jusqu'ici, été soumise au contrôle systématique de l'expérience. J'ai fait ce contrôle en collaboration avec M. Turchini, et nous avons été assez heureux pour trouver entre la formule et l'expérience des différences notablement plus grandes que nos erreurs inévitables, accusant un écart systématique. Dans cette étude expérimentale qui a duré quatre ans, nous avons dû créer de toutes pièces l'instrumentation; d'abord un électro-dynamomètre pour les hautes fréquences permettant de mesurer leur intensité efficace sans employer l'échauffement, puis deux calorimètres susceptibles de donner des indications pour les très faibles quantités de chaleur dégagées dans les fils en expérience. Il a fallu ensuite obtenir des courants de haute fréquence assez constants pour permettre de les mesurer, nous y sommes arrivés au moyen d'un éclateur de forme particulière assurant une régulation automatique. Enfin nous avons dû mesurer avec soin les capacités des bouteilles de Leyde qui nous ont servi, pour les fréquences mêmes que nous avons utilisées. Comme le pouvoir inducteur spécifique du verre varie avec la fréquence, nous avons dû déterminer cette constante directement.

Les résultats obtenus par ce procédé sont compatibles avec l'hypothèse de

l'existence dans les métaux d'un pouvoir inducteur spécifique considérable, en supposant que la conductibilité ne varie pas avec la fréquence. J'ai ainsi pu trouver pour le carré n^2 de l'indice de réfraction, dans le cas des ondes électriques qui présentent la fréquence de 3 millions par seconde, la valeur $n^2 = 10^{11}$ environ.

Ce résultat semble au premier abord incompatible avec ceux qui ont été obtenus par MM. Rubens et Hagen et M. Planck. MM. Rubens et Hagen ont mesuré le pouvoir réflecteur des métaux pour les ondes calorifiques qui possèdent une période aux environs de 10 trillions par seconde, et M. Planck a calculé ce pouvoir réflecteur au moyen de la formule de Cauchy en introduisant dans celle-ci la conductibilité métallique. Ce calcul a été conduit en faisant l'hypothèse $K = o$, K étant le pouvoir inducteur spécifique. Je l'ai repris en conservant le paramètre K, et j'ai vu que la question comportait deux solutions : la solution $K = o$ de M. Planck, et une autre solution tout à fait compatible avec mes idées. Avec les électrolytes j'ai obtenu des résultats analogues.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES DE 1914 A 1920

ETUDES SUR LE SENS DES FORCES ET LE SENS DES COUPLES

Parmi les services dont j'ai été chargé à la Direction des Inventions, j'en ai trouvé qui m'ont amené à des résultats scientifiques intéressants. Je vais résumer ici ce qui a trait à la Physiologie des aviateurs, et à l'examen fonctionnel de ceux-ci, et qui m'a amené à distinguer dans l'oreille interne un sens nouveau, le *sens des couples,* distinct du *sens des forces.*

§ 1er. — Examen des aviateurs

J'ai fait construire à la Direction des Inventions un fauteuil à bascule qui permet d'étudier correctement les temps de réactions des sujets pour les accélérations angulaires produites soit autour d'un axe horizontal, soit autour d'un axe vertical. Cet appareil, mis entre les mains des docteurs Maublanc et Ratié, au groupe des Divisions d'entraînement de l'aviation, leur a donné les meilleurs résultats. Nous avons pu, bien mieux que par la méthode des temps de réaction oculaires, visuels et tactiles, classer les candidats aviateurs ; et la méthode s'est montrée capable aussi de fournir un document précieux pour classer les pilotes, et même pour apprécier leur aptitude momentanée au vol. La description de l'appareil et des méthodes a été faite dans le *Bulletin mensuel de la Direction des Inventions,* janvier 1920.

J'ai été aussi chargé avec le docteur Garsaux, de la section technique aéronautique d'étudier l'action de la force centrifuge sur les aviateurs. L'accident de Gilbert, causé

par la rupture des haubans d'un appareil calculé pour résister à une force centrifuge égale à cinq fois la pesanteur, amena le section technique à exiger la solidité suffisante pour résister à vingt fois la pesanteur On pouveit se demander elors si l'organisme de l'aviateur pouvait subir sans dommage les forces centrifuges de huit ou dix fois le pesanteur qu'ils ne manqueraient pas dans ces conditions de s'imposer, en particulier dans le *cherrage*, où les derniers Sped pouvaient atteindre plus de 300 kilomètres à l'heure en décrivant une courbe de 300 mètres de reyon de courbure. Nous avons commencé par expérimenter sur des chiens, et nous avons vu que les symptômes étaient multiples, les uns nerveux, les autres circulatoires. Les premiers sont dûs è des compressions des centres nerveux sur la boîte osseuse, et on peut à volonté produire les phénomènes d'épilepsie corticale par excitation de le zone motrice et les mouvements de gyration dûs aux lésions des pédoncules cérébelleux.

Les seconds sont plus complexes ; ils sont dûs à l'accumulation du sang dans l'abdomen qui, sous l'action de la force centrifuge, se gonfle et produit une aspiration dans l'aorte. Tout le sang finit par s'y emmegasiner, la mort survient par asphyxie. Ceci est le résultat d'une autopsie d'un chien, soumis pendant cinq minutes à quatre-vingt-dix-huit fois la pesanteur. Tous les chiens soumis à vingt, quarente, quatre-vingts fois la pesanteur pendant cinq minutes, ont survécu.

La question est ouverte en ce qui concerne l'ection de ces diverses causes sur la précision des réactions neuro-musculeires.

Ceci a fait l'objet d'une lecture à l'Académie de médecine en juillet 1919.

§ 2. — **Conclusion théorique**

Les faits relatifs eu sens des accélérations angulaires m'ont amené à étudier théoriquement, à le lumière des faits enatomiques, le formation des signes locaux relatifs aux sens de l'équilibre dans l'oreille interne. J'ai exposé ces vues théoriques dans un article du *Journal de Physiologie et de Pathologie générale* d'août 1920.

La notion de pesanteur, en grandeur et en direction, peut être donnée par deux manomètres placés dens deux vases distincts. Un seul ne suffit pas, car en un point, la pression agit de même dens tous les sens, et par conséquent avec un seul manomètre la notion de direction de le pesanteur n'existereit pas.

De là la nécessité de l'utricule et du saccule avec leurs macules improprement dites *auditives*, et que je propose d'appeler *macules vestibulaires*. Le canel endolymphatique permet l'établissement initial d'une pression uniforme dans le système total, en s'opposant aux communications repides de variations de pression.

Les canaux semi-circulaires, evec leurs crêtes improprement appelées *auditives* et que je propose de nommer *crêtes ampullaires*, sont organisés pour canaliser des courants liquides exerçant des pressions latérales sur les crêtes ampullaires. Ces mouvements ne peuvent se produire que dans le cas d'une accélération anguleire, et ils nous renseignent exactement sur la direction de l'axe de rotation et sur la grandeur de l'accélération anguleire, nous indiquant quel est le couple à exercer pour le redressement du corps.

Je suis donc amené à distinguer deux sens dans l'oreille interne : le *sens des forces*

donné par les macules vestibulaires, et le *sens des couples* donné par les crêtes ampullaires.

Ce dernier nous renseigne sur la direction de l'axe de rotation, ce que le premier ne pouvait faire, d'après le principe de relativité, qui est à la base de la physique moderne.

IMP. JOUVE ET CIE, 15, RUE RACINE, PARIS — 4868-20